

STUDI ARKEOLOGI EKSPERIMENTAL TEKNIK PENGEBORAN GELANG BATU DARI PURBALINGGA

Experimental Archaeology Study on the Drilling Techniques of Neolithic Stone Bracelet from Purbalingga

Priyatno Hadi Sulistyarto¹, Lilin Kumala Pratiwi², Aldhi Wahyu Pratama²,
Salma Fitri Kusumastuti², Indah Asikin Nurani¹, Sofwan Noerwidi¹, Tedy Setyadi¹,
Andreyas Eko Atmojo¹, Slamet Widodo¹, Ghusnul Assa Fuadillah¹

¹Balai Arkeologi DIY, ²Alumnus Departemen Arkeologi FIB UGM

¹Jl. Gedongkuning No. 174 Yogyakarta, ²Jl. Nusantara 1, Bulaksumur, Yogyakarta
¹priyatno.hadi@kemdikbud.go.id

Naskah diterima : 24 April 2021

Naskah diperiksa : 4 September 2021

Naskah disetujui : 1 Oktober 2021

Abstract. *The stone bracelet is a neolithic artifact crafted by drilling techniques. Traces of stone bracelet workshop activities in Central Java were found in Purbalingga, which is spread across the North Serayu Mountains between Kali Tungtunggunung and Kali Laban. This study is based on the previous research hypothesis, which states that the manufacture of stone bracelets is carried out by drilling techniques using bamboo wulung (*Gigantochloa atroviolacea*). This study aims to prove this hypothesis. An experimental archaeological approach by conducting drilling experiments using several drill bits: iron drills, masonry/concrete iron drills, iron drills for natural stone, and bamboo drills. Meanwhile, the abrasive materials used are water, river sand, and quartz sand. The analysis was carried out by comparing the morphological and morphometric traces of the workings between artifacts and experimental results, based on microscopic observations with a magnification of 20x to 200x. Compared to the other drilling bits and abrasive materials, the experimental study revealed that bamboo drill bits, with quartz-sand and water as additional gritty material, showed the closest similarity.*

Keywords: *stone bracelet, experimental archaeology, drilling, chert, wulung bamboo*

Abstrak. Gelang batu merupakan artefak neolitik yang dibuat dengan teknik pengeboran. Jejak aktivitas perbengkelan gelang batu di Jawa Tengah ditemukan di Purbalingga yang tersebar di Pegunungan Serayu Utara antara Kali Tungtunggunung dan Kali Laban. Penelitian ini didasarkan pada hipotesis penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa pembuatan gelang batu dilakukan dengan teknik pengeboran menggunakan bambu wulung (*Gigantochloa atroviolacea*). Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan hipotesis tersebut. Melalui pendekatan arkeologi eksperimental dengan melakukan percobaan pengeboran menggunakan beberapa macam mata bor yaitu bor besi, bor besi untuk beton, bor besi untuk batu alam, dan bor bambu. Sementara itu, bahan pengikis yang digunakan adalah air, pasir kali, dan pasir kuarsa. Analisis dilakukan dengan cara komparasi morfologi dan morfometri jejak pengerjaan antara artefak dengan hasil eksperimen, berdasarkan pengamatan mikroskopik perbesaran 20x hingga 200x. Hasil eksperimen dengan menggunakan mata bor bambu dan bahan pengikis air dan pasir kuarsa menunjukkan tingkat kemiripan paling tinggi dibandingkan dengan mata bor dan bahan pengikis lainnya.

Kata kunci: gelang batu, arkeologi eksperimental, pengeboran, rijang, bambu wulung

1. Pendahuluan

Temuan artefak Neolitik sering dihubungkan dengan masyarakat bercocok tanam. Pada umumnya, artefak Neolitik seperti beliung dan kapak lonjong digunakan sebagai alat bercocok tanam, tetapi tidak semua artefak Neolitik memiliki konteks seperti itu (Bellwood, 2004). Salah satu artefak yang tidak memiliki hubungan kontekstual dengan aktivitas bercocok tanam adalah gelang batu. Gelang batu memiliki fungsi yang berbeda dengan artefak Neolitik lainnya. Gelang batu diciptakan bukan lagi untuk alat produksi bercocok tanam, melainkan sekedar aksesoris tubuh (*adornment*) sebagai representasi keindahan.

Teknologi pembuatan gelang batu pada masa Neolitik dapat ditemukan di berbagai wilayah belahan dunia. Di kawasan Asia, gelang batu antara lain ditemukan di Taiwan, Vietnam, Thailand, Kamboja, Myanmar, Malaysia, Indonesia, dan Filipina (Hung dkk. 2007). Gelang batu Neolitik tertua di dunia ditemukan pada Kebudayaan Dabeng, Taiwan dengan pertanggalan 3000 BC dan Kebudayaan Ha Long di utara Vietnam (Hung 2014: 1).

Temuan gelang batu di Indonesia telah disebutkan oleh Harry Truman Simanjuntak dalam penelitiannya yang pertama kali dilakukan pada tahun 1980 di wilayah Purbalingga. Terdapat situs-situs perbengkelan Neolitik di sepanjang aliran Sungai Klawing seperti Situs Ponjen, Limbasari, Arjosari, Karangjoho dan Spondol (Simanjuntak dan Widiyanto 1990; Simanjuntak dkk 1986). Situs perbengkelan memiliki ciri utama sumber bahan batuan yang tidak jauh dari situs tersebut dan didapatkan dengan cara menambang atau mengambil langsung. Ciri yang lainnya yaitu peralatan yang digunakan, produk setengah jadi, produk jadi dan limbah produksi. Selain itu, juga ditemukan batu asah yang berasosiasi dengan gelang batu. (Simanjuntak dkk. 1986: 24-26).

Pembuatan gelang batu tersebut merupakan inovasi baru dalam perkembangan teknologi litik. Adanya situs-situs perbengkelan

menunjukkan adanya hubungan antarmanusia yang terjadi terhadap pembagian kerja tiap-tiap manusianya (Atmosudiro 1980). Dengan demikian, situs-situs perbengkelan tersebut memberi gambaran tentang proses dan teknik pengerjaan terhadap artefak Neolitik, terutama pembuatan gelang batu.

Pembuatan suatu artefak atau hasil budaya manusia tidak terlepas dari rangkaian tahapan operasional atau disebut juga sebagai *chaîne opératoire*. Tahapan operasional merupakan proses analisis teknis dan tindakan sosial yang terlibat dalam suatu proses produksi seperti alat batu atau tembikar, baik langkah-langkahnya, penggunaan, hingga pembuangan akhir artefak tersebut (Grace 1997).

Proses pembuatan gelang batu pada masa Neolitik cukup kompleks karena membutuhkan teknologi dan keahlian yang spesifik. Hal ini terlihat pada sejumlah temuan arkeologi di situs-situs perbengkelan yang berada di Purbalingga. Beberapa temuan arkeologi tersebut banyak menunjukkan kegagalan dalam proses pengeboran. Temuan data arkeologi tidak menunjukkan gelang batu yang telah selesai dibuat.

Teknik pengeboran atau melubangi benda keras sebenarnya telah dikenal sejak masa Paleolitik Atas di Benua Eropa (Gwinnett dan Gorelick 1998; Conard, Malina, dan Münzel 2009). Pengeboran sering dijadikan sebagai langkah terakhir dalam pembuatan artefak seperti perhiasan. Kemampuan melubangi benda pun semakin banyak digunakan pada awal masa Perundagian dan Neolitik (Semenov 1964: 74-78). Menurut Duff (1970), penguasaan teknologi pada masyarakat dari periode Neolitik akhir menjadikan mereka memiliki kemampuan tinggi dalam pembuatan artefak alat batu yang meliputi teknik *sawing* dan *drilling* atau pengeboran yang kemudian berkembang menjadi *double-crater drilling* dan *tubular bore technique*. Contoh teknik *sawing* dan *drilling* biasa dijumpai pada artefak manik-manik dari tulang, gading, atau gigi (mis.

Talamo dkk. 2021; Thompson 2021; Brumm dkk. 2017). Sementara itu, teknik *double-crater drilling* dapat dijumpai pada pembuatan *fly-wheel* (mis. Ilan 2016; Imdirakphol dkk. 2017) yang umumnya berbahan dasar batuan lunak seperti batu sabak dan batu lempung.

Jejak pengeboran *tubular bore technique* dapat ditemukan pada proses pembuatan artefak gelang batu dari Purbalingga dengan dibuktikan oleh adanya sisa atau limbah bagian tengah gelang batu. Dibutuhkan mata bor yang berbentuk silindris dan memiliki rongga untuk dapat menghasilkan bentuk seperti temuan gelang batu di Purbalingga.

Percobaan peniruan atau eksperimental telah dilakukan oleh Atmosudiro (1980) untuk menjelaskan cara pembuatan gelang bor batu dari Situs Mujan, Purbalingga. Penelitian awal tersebut mencakup beberapa penjelasan tentang gelang batu yang ada di Indonesia, seperti temuan di Desa Cibuntu, Kampung Muara, Kalumpang maupun Mujan, serta temuan gelang batu yang ada di Filipina dan Thailand. Selain itu, dijelaskan juga pembuatan gelang batu dengan mata bor bambu wulung meskipun perlu penelitian lanjutan yang lebih mutakhir untuk menjelaskan secara saintifik agar dapat menjawab proses pembuatannya. Dengan demikian, penelitian yang dilakukan Atmosudiro (1980) memunculkan hipotesis penggunaan bambu wulung sebagai alat gurdi atau bor.

Dari sudut pandang teknologis, proses pembuatan artefak gelang batu menunjukkan tahapan-tahapan yang rumit dan kompleks. Sampai saat ini sangat sedikit kajian yang bertujuan untuk merekonstruksi teknik pengeboran gelang batu dari masa Neolitik di Indonesia sehingga mekanisme pengeboran serta alat dan bahan yang digunakan dalam aktivitas tersebut belum dapat diketahui dengan baik. Tujuan penelitian ini adalah menguji hipotesis Atmosudiro (1980) dan memperoleh pengetahuan tentang teknik pembuatan gelang batu dan alat-alat yang digunakan dalam proses pembuatannya.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan gelang batu dan sisa gelang batu dari hasil ekskavasi situs-situs arkeologi di wilayah Kabupaten Purbalingga, seperti Situs Karangjoho, Limbasari dan Tipar Ponjen (koleksi Balai Arkeologi DI Yogyakarta). Selain itu, bahan pembuatan gelang batu juga diambil dari Situs Limbasari yang berupa batu rijang (*chert*) yang memiliki tingkat kekerasan 7 skala Mohs dan bukan merupakan artefak.

Dalam penelitian ini dilibatkan 14 artefak yang dikumpulkan untuk dilakukan pengamatan mikroskopis (Tabel 1). Berdasarkan jenisnya, artefak yang dikumpulkan terbagi menjadi empat jenis, yaitu sisa bagian dalam, sisa limbah bahan gelang, fragmen gelang, dan batu asah. Artefak-artefak tersebut adalah koleksi Balai Arkeologi DI Yogyakarta yang berasal dari Situs Tipar Ponjen, Limbasari, dan Karangjoho.

Penelitian dilakukan di kantor Balai Arkeologi Provinsi DI Yogyakarta untuk analisis eksperimental maupun analisis laboratorium. Studi pustaka dilakukan dari sumber-sumber yang mengkaji dan menjelaskan tentang gelang batu secara umum sebagai perbandingan dengan gelang batu dari Purbalingga, seperti Hung (2007; 2014) yang meneliti gelang batu di wilayah Taiwan, Filipina, Vietnam; dan Lombard (2003) yang meneliti tentang gelang batu yang ada di situs-situs Afrika Selatan.

Analisis arkeologi eksperimental dilakukan untuk membuat analogi tentang cara pembuatan suatu benda di masa lalu. Di samping itu, dengan melakukan eksperimen, peneliti dapat membuat serta memeriksa kembali hipotesis yang telah ada dengan kondisi tertentu yang lebih terkontrol (Miller 2007: 35). Eksperimen didasari pada hipotesis Atmosudiro (1980) yang menyebutkan bahwa pembuatan gelang batu di Purbalingga dilakukan pengeboran dengan menggunakan bambu wulung. Lebih lanjut dijelaskan bahwa

bambu wulung digunakan sebagai mata bor dan alat bor gesek dengan menggunakan tali. Mekanisme yang dihasilkan dengan alat bor tersebut akan menghasilkan perputaran dua arah karena gerakan putaran akan bergerak searah jarum jam dan sebaliknya (Atmosudiro 2008).

Kemudian, tahap analisis laboratoris dilakukan dengan menggunakan mikroskop digital *Dinolite* seri AM7013MZT (Gambar 1). Alat ini merupakan mikroskop *portable* yang dapat menghasilkan gambar dengan perbesaran antara 20x – 200x, tergantung pada bentuk dan ukuran benda. Gambar yang dihasilkan kemudian diamati dengan menggunakan *software image raster*, untuk dilakukan pengukuran terhadap panjang dan lebar striasi, dengan satuan pengukuran milimeter. Hal ini dilakukan apabila memungkinkan dengan catatan bahwa gambar yang dihasilkan cukup jelas.

Striasi merupakan goresan pada permukaan tulang panjang maupun pendek yang menunjukkan arah gerakan saat digunakan (Bradfield 2015). Arah gerak alat yang ditunjukkan oleh striasi ini bergantung pada tekstur material kontakannya (d'Errico 1993; Griffiths 2006).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis Laboratoris

Berdasarkan hasil analisis laboratoris, secara umum dapat diketahui bahwa jejak pengerjaan berupa striasi terlihat, baik pada sisa bagian dalam, sisa limbah bahan gelang,

fragmen gelang, maupun batu asah. Striasi pada temuan fragmen gelang batu berbentuk memanjang yang tidak terputus-putus serta tidak berpotongan memberi gambaran bahwa pengerjaan gelang batu di Purbalingga menggunakan teknik pengeboran satu arah.

Pengamatan secara mikroskopis pada 6 buah artefak sisa bagian dalam menunjukkan adanya striasi yang sebagian besar terlihat di sekeliling tepi lingkaran artefak. Striasi di sekeliling tepi lingkaran berupa goresan yang halus hingga kasar dan merupakan akibat dari aktivitas pengeboran. Jika dilihat dari ukurannya, striasi dengan rata-rata terpanjang ditemukan pada artefak dengan nomor inventarisasi 17/7JN/LS/16 yaitu 3,725 mm (Tabel 2, No. 4). Selain itu, untuk ukuran rata-rata lebar berkisar antara 0,045 mm sampai dengan 0,115 mm.

Bentuk striasi yang ada pada bagian keliling tepian sisa bagian dalam bervariasi. Ada striasi yang halus dan kasar. Sebagian striasi (jika dilihat dengan bantuan mikroskop) ada yang terlihat jelas dan ada pula yang hanya terlihat samar. Adapaun striasi yang menyambung tanpa terputus seperti yang terlihat pada artefak 6/LS/P. Selain striasi di bagian keliling, pada beberapa artefak juga ditemukan striasi pada bagian permukaan seperti pada artefak 17/7JN/LS/16 dengan panjang striasi 1,29 mm.

Di samping pengamatan striasi pada sisa bagian luar artefak limbah, pengamatan secara mikroskopik juga dilakukan pada 7

Tabel 1. Daftar Artefak yang Diamati dengan Mikroskop *Dinolite* (sumber: penulis)

No.	Jenis Artefak	No. Inventaris	Situs	Ukuran (mm)					
				Ø terluar	Tebal	Panjang	lebar	Ø Permukaan Atas	Ø Permukaan Bawah
1.	Sisa Bagian Dalam	1/T/P	Tipar Ponjen	53,19	7,9	-	-	48,9	49,62
2.	Sisa Bagian Dalam	17/7JN/LS/16	Limbasari	60,84	21,18	-	-	57,06	57,92

Tabel 1 (lanjutan). Daftar Artefak yang Diamati dengan Mikroskop *Dinolite* (sumber: penulis)

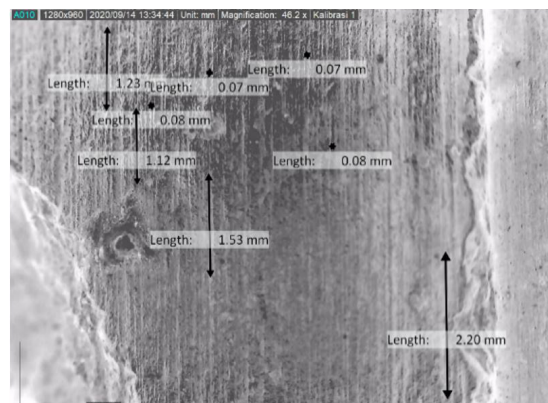
No.	Jenis Artefak	No. Inventaris	Situs	Ukuran (mm)					
				Ø terluar	Tebal	Panjang	lebar	Ø Permukaan Atas	Ø Permukaan Bawah
3.	Sisa	6/LS/P	Limbasari	43,2	11,49	-	-	40,21	40,62
4.	Sisa	Limbah Bahan Gelang	-	53,97	39,58	-	-	50,33	50,86
5.	Sisa	23/T/L.12/(5)/TL	Tipar Ponjen	35,57	10,72	-	-	32,07	32,3
6.	Sisa	2/Kt/P	Karangjoho	56,12	24,45	-	-	53,83	54,36
7.	Sisa	5/T/v XLIII/(4)/TG	-	-	13,22	63,27	38,22	-	-
8.	Fragmen Gelang	4/T/W44/TG/4	Tipar Ponjen	-	8	33,63	7,85	-	-
9.	Fragmen Gelang	7/LS/TPVI/(2)/BL	Limbasari	-	10,16	29,69	8,77	-	-
10.	Fragmen Gelang	28/T/TPI/4	Tipar Ponjen	-	8,30	31,21	7,45	-	-
11.	Fragmen Gelang	7/T/V42/(6)/TG	Tipar Ponjen	-	7,32	29,73	10,37	-	-
12.	Fragmen Gelang	T3/T/jxl/(1)/BL	Tipar Ponjen	-	8,13	22,38	10,16	-	-
13.	Fragmen Gelang	-	-	-	6,63	60,04	9,61	-	-

buah fragmen gelang. Pada fragmen gelang striasi pada umumnya dapat ditemui pada bagian dalam, kemudian pada beberapa artefak limbah juga dijumpai di bagian luar (7/T/V42/(6)/TG, T3/T/JXL/(1)/BL, dan 5TV/XLIII/(4)/TG). Pada artefak tersebut terdapat

striasi yang menyambung di seluruh bagian maupun terputus-putus. Selain adanya striasi, ditemukan pula kilap seperti pada fragmen dengan nomor inventarisasi 28/T/TPI/4. Hasil pengukuran striasi pada artefak dicantumkan dalam Tabel 2.



Gambar 1. Pengamatan Artefak dengan Mikroskop Dinolite AM7013MZT (Sumber: Dokumentasi Tim Penulis, 2020)



Gambar 2. Hasil Pengamatan dan Pengukuran Striasi pada sampel 4/T/W44/TG/4 (sumber: Dokumentasi Tim Penulis, 2020)

Tabel 2. Hasil Pengamatan dan Pengukuran Striasi pada sampel 4/T/W44/TG/4 (sumber : Dokumentasi Tim Penulis 2020)

No.	No. Inventarisasi	Panjang (mm)		Lebar (mm)		Keterangan
		Rata-rata maks.	Rata-rata min.	Rata-rata maks.	Rata-rata min.	
1.	1/T/P	4,33	1,065	0,155	0,06	Striasi terlihat jelas di sekeliling medial bekas pengeboran.
2.	2/Kt/P	6,61	1,165	0,24	0,04	Striasi melingkar dan tidak terputus.
3.	6/LS/P	3,315	0,565	0,14	0,02	Striasi kasar, terlihat di bagian tengah keliling tepian, terputus.
4.	17/7/JN/S/16	3,725	1,185	0,115	0,045	Terlihat striasi di permukaan artefak (p=1,29 mm). Striasi pada keliling tepi terlihat jelas di bagian medial.
5.	23/T/L/12/5/TL	5,79	1,51	0,235	0,115	Striasi pada keliling tepian bagian bawah terlihat lebih jelas.
6.	Limbah Bahan Gelang	4,12	1,295	0,185	0,055	Terlihat goresan melintang di bagian tepi. lain striasi terlihat jelas di beberapa sisi, di bagian tepi lainnya samar.
7.	4/T/W44/TG/4	1,45	0,98	0,105	0,055	Striasi yang diamati terdapat di bagian dalam. Ada yang jelas, maupun samar.
8.	7/TV42/(6)/TG	-	-	0,925	0,79	Striasi jelas, dalam, dan memanjang di seluruh bagian .dalam fragmen gelang.
9.	Fragmen Gelang bernomor tidak jelas	2,43	0,78	0,13	0,09	Striasi melingkar, tidak terputus dan terlihat jelas.

3.2 Analisis Eksperimental

Analisis eksperimental dilakukan dengan menggunakan bahan batu rijang yang diambil dari situs-situs Purbalingga. Karena keterbatasan sumber bahan, bahan yang digunakan hanya terdapat empat batu untuk

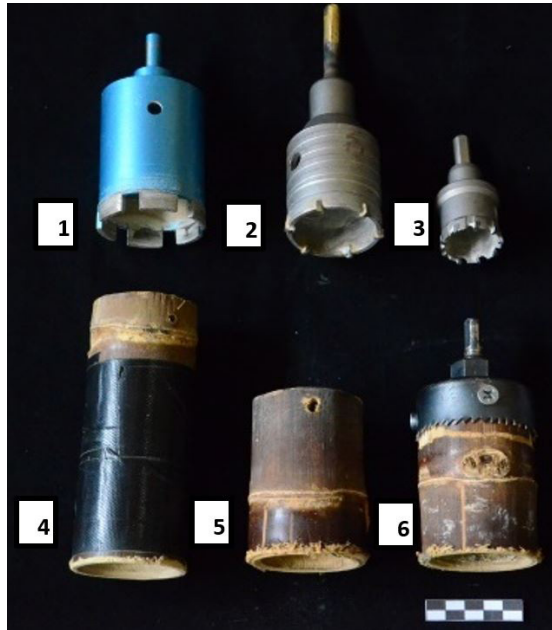
Tabel 3. Hasil pengukuran bahan yang digunakan untuk eksperimen pembuatan gelang batu (sumber: Dokumentasi Tim Penulis 2020)

No.	No. Inventarisasi	Ukuran (cm)		
		panjang	lebar	tebal
1	Batu Rijang Eksperimen /01	19,5	10,5	4
2	Batu Rijang Eksperimen/02	14	10,5	1,5
3	Batu Rijang Eksperimen/03	15,5	10	1,5
4	Batu Rijang Eksperimen /04	17,5	11,5	4,5

dilakukan eksperimen dengan kode E/01, E/02, E/03, dan E/04. Keterangan mengenai ukuran serta bahan yang digunakan untuk eksperimen dicantumkan pada Tabel 3.

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan mesin bor tangan dan mesin bor duduk. Mata bor yang digunakan dalam studi eksperimen ini adalah mata bor bambu, bor besi, bor besi untuk beton, dan bor besi untuk batu alam (Gambar 3). Selain itu, digunakan juga bahan pengikis berupa air, pasir kali dan pasir kuarsa (Tabel 4).

Eksperimen dilakukan sebanyak delapan kali dengan menggunakan mata bor dan boryang berbeda. Eksperimen pertama menggunakan bor dan mata bor bambu; eksperimen kedua menggunakan bor dan mata bor besi kuarsa; eksperimen ketiga menggunakan bor dan



Gambar 3. Jenis-jenis mata bor yang digunakan (1. mata bor beton; 2. mata bor besi; 3. mata bor besi, 4. mata bor bambu; 5. mata bor bambu, 6. mata bor beton dan bambu) (sumber: Dokumentasi Tim Penulis 2020)

mata bor beton; eksperimen keempat, kelima, serta keenam menggunakan bor beton dan mata bor besi kuarsa; eksperimen ketujuh menggunakan bor beton dan mata bor besi dan mata bor bambu; dan eksperimen kedelapan menggunakan bor beton dan mata bor bambu. Dari delapan eksperimen yang telah dilakukan, hanya pengeboran dengan menggunakan bor besi untuk batu alam yang tidak berhasil memberikan bekas luka gores. Sementara

itu, eksperimen dengan menggunakan bor bambu yang pada awalnya tidak mampu melukai bahan batu, kemudian dapat memberikan luka gores di akhir eksperimen dengan penambahan bahan pengikis air dan pasir kuarsa. Keterangan mengenai hasil eksperimen yang berdasarkan jenis mata bor yang digunakan dan bahan pengikisnya dicantumkan pada Tabel 4.

3.2.1 Eksperimen Menggunakan Bor Besi dan Bahan Pengikis Air

Pada eksperimen ini digunakan bahan rijang dengan kode E/01 pada permukaan bawah dan mata bor besi. Bahan pengikis yang digunakan adalah air. Hasil pada permukaan batu rijang dengan kode E/01 menunjukkan bekas luka gores dengan diameter terluar 60,29 mm dan bagian terdalam 38,23 mm, sementara untuk kedalaman 8,28 mm. Eksperimen dilakukan selama 15 menit.

Pada pengamatan dengan menggunakan perbesaran 20,5x ditemukan striasi atau bekas gores yang dihasilkan oleh mata bor besi dengan material air. Terdapat striasi yang melingkar dan terputus. Tampak pola striasi yang tidak teratur. Striasi lurus dan searah. Striasi yang dihasilkan memiliki ukuran lebar $\pm 0,35-0,36$ mm. Selain itu, permukaan pada bagian yang dilakukan pengeboran juga terlihat kasar.

Tabel 4. Proses eksperimen pembuatan gelang batu dari awal hingga akhir

No.	Mata Bor	Alat Bor	No. Inventaris	Pengikis	Durasi	Ø Dalam (mm)	Ø Luar (mm)	Kedalaman (mm)	Sukses
1.	Bambu	Bor tangan	E/01	Air, Pasir Kali	-	-	-	-	-
2.	Besi	Bor tangan	E/01	Air	15	60,29	38,23	8,28	✓
3.	Beton	Bor duduk	E/01	Air	-	-	-	-	-
4.	Besi Kuarsa	Bor duduk	E/02	Air	20	60,43	54,30	11,48	✓
		Bor duduk	E/03	Air	20	61,74	53,94	14,20	✓
		Bor duduk	E/01	Air	20	62	52,62	26,66	✓
5.	Besi Kuarsa, Bambu	Bor duduk	E/04	Air, Pasir Kali	20	64,06	53,47	8,03	✓
6.	Bambu	Bor duduk	E/04	Air, Pasir Kali, Pasir kuarsa	30	60,61	49,38	3,90	✓

3.2.2 Eksperimen Menggunakan Bor Besi untuk Batu Alam

Eksperimen keenam dilakukan menggunakan bahan rijang dengan kode E/01 dan mata bor besi untuk batu alam. Bahan pengikis yang digunakan adalah air. Hasil pada bahan batuan E/01 menunjukkan hasil batu yang berlubang dengan bagian sisa dalam yang terlepas. Diameter terluar 62 mm dan diameter terdalam 52,62 mm. Ketebalan sisa dalam adalah 26,66 mm. Eksperimen dilakukan selama 20 menit.

Striasi yang dihasilkan dengan menggunakan mata bor besi untuk batu alam berupa garis lurus, searah, dan tidak terputus. Dibandingkan dengan striasi yang dihasilkan oleh mata bor besi biasa, lebar striasi lebih rapat. Striasi yang dihasilkan memiliki lebar $\pm 0,06 - 0,095$ mm dan panjang $\pm 6,71$ mm. Tampak luka perimping kecil, yang ditunjukkan oleh bercak berwarna hitam.

3.2.3 Eksperimen Menggunakan Bor Bambu dengan Bahan Pengikis Air dan Pasir Kuarsa

Eksperimen ketujuh dilakukan dengan menggunakan bahan rijang dengan kode E/04 dan mata bor bambu. Bahan pengikis yang digunakan adalah air dan pasir kuarsa. Hasil pada bagian permukaan bahan batuan E/04 menunjukkan bekas luka gores yang berbeda dengan bagian goresan akibat eksperimen ketujuh. Diameter terluar 60,61 mm dan diameter terdalam 49,38 mm. Sementara untuk ketebalan adalah 3,90 mm. Eksperimen dilakukan selama 30 menit.

Eksperimen keempat dilakukan dengan menggunakan bor duduk dan mata bor besi dengan bahan pengikis pasir kuarsa, serta bahan pengikis air dan pasir kali. Pengamatan dilakukan pada perbesaran 35x, 45x, dan 50x. Pada perbesaran 35x (gambar 43, kiri bawah), tampak striasi halus di dasar permukaan yang dibor. Permukaan yang dibor tampak

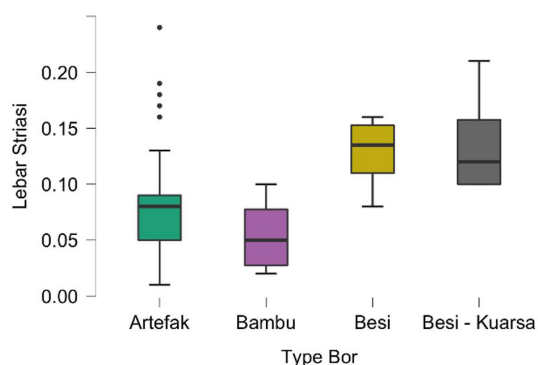


Gambar 4. Proses pengeboran dengan menggunakan mata bor bambu, bahan pengikis air dan pasir kuarsa (sumber : Dokumentasi Tim Penulis 2020)

bergelombang, namun memiliki kontur halus. Pada perbesaran 45x tampak striasi dan kontur permukaan yang lebih jelas. Permukaan tampak lebih halus. Pada perbesaran 50x tampak striasi pada permukaan yang dibor, disertai dengan luka perimping akibat kontak bahan gelang dengan material pengikis. Striasi yang dihasilkan lurus tidak terputus dan searah, dengan lebar bervariasi antara 0,01 - 0,085 mm. Selain itu, terdapat luka perimping pada permukaan yang dibor.

3.3 Studi Komparasi Artefak dan Hasil Eksperimen

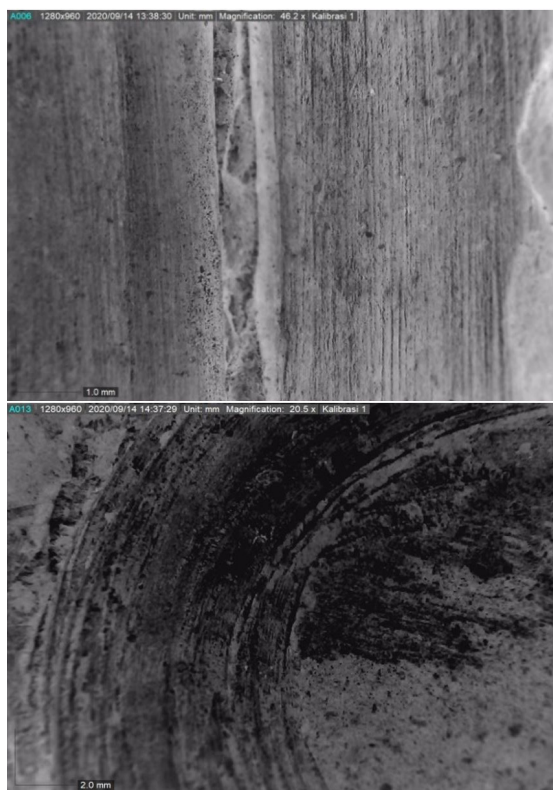
Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan dapat dilihat perbandingan striasi baik dari artefak, mata bor bambu, besi dan besi untuk batuan alam (kuarsa). Berikut ini adalah diagram yang menjelaskan tentang perbandingan striasi tersebut. Perbandingan tersebut menunjukkan rata-rata ukuran lebar striasi setiap mata bor yang digunakan memiliki tingkat kemiripan tinggi apabila digunakan bambu sebagai mata bor.



Gambar 5. Boxplot perbandingan lebar striasi pada artefak, hasil eksperimen mata bor bambu, besi dan besi untuk batuan lama (sumber: Dokumentasi Tim Penulis 2020)

3.3.1 Artefak dan Hasil Eksperimen dengan Mata Bor Besi

Hasil pengamatan *dinolite* dengan perbesaran 20,5x pada hasil eksperimen bahan batuan E/01 bagian belakang dengan menggunakan mata bor besi dan bahan pengikis air menunjukkan bekas luka gores yang cukup dalam dan striasi yang tidak teratur. Bekas



Gambar 6. Perbandingan Mikroskopis Bagian Tepi Artefak 2/Kt/P (atas) dengan Hasil Eksperimen E/01 Bagian Belakang (bawah) (sumber: Dokumentasi Tim Penulis 2020)

tersebut berbeda dengan hasil pengamatan mikroskopik pada artefak gelang batu 2/Kt/P.

3.3.2 Artefak dan Hasil Eksperimen dengan Mata Bor Besi

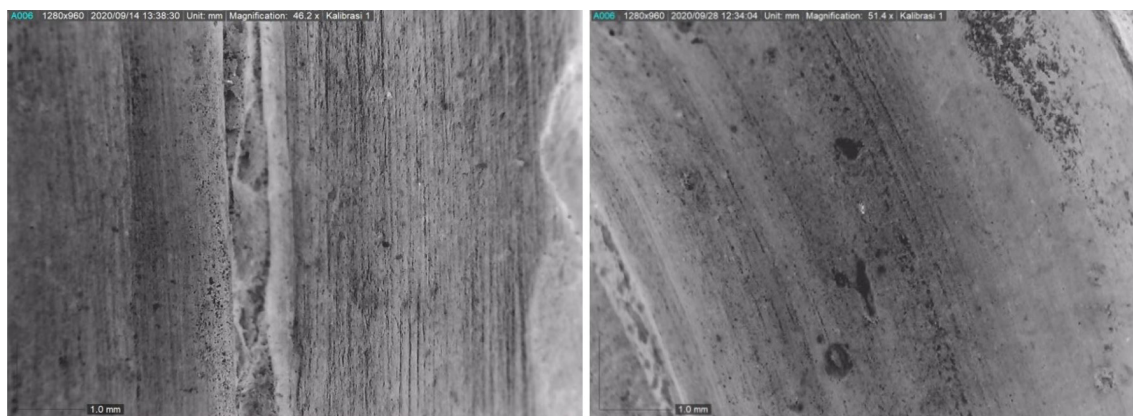
Hasil pengamatan *dinolite* dengan perbesaran 44,2x pada hasil eksperimen bahan batuan E/01 pada sisa bagian tengah dengan menggunakan mata bor besi kuarsa dan bahan pengikis air menunjukkan bekas luka gores dengan striasi yang teratur, tetapi bagian permukaannya terlihat tidak halus atau kasar. Bekas tersebut hampir sama dengan hasil pengamatan mikroskopik pada artefak gelang batu 2/Kt/P.



Gambar 7. Perbandingan Mikroskopis Bagian Tepi Artefak 2/Kt/P (atas) dengan Hasil Eksperimen E/01 Bagian T5 (bawah) (sumber: Dokumentasi Tim Penulis 2020)

3.3.3 Artefak dan Hasil Eksperimen dengan Mata Bor Besi

Hasil pengamatan *dinolite* dengan perbesaran 51,4x pada hasil eksperimen bahan batuan E/04 bagian belakang dengan



Gambar 8. Perbandingan Mikroskopis Bagian Tepi Artefak 2/Kt/P (atas) dengan Hasil Eksperimen E/04 bagian T5 (bawah) (sumber : Dokumentasi Tim Penulis 2020)

menggunakan mata bor bambu dengan bahan pengikis air dan pasir kuarsa menunjukkan bekas luka gores yang dalam dan striasi yang teratur serta permukaan halus. Bekas tersebut hampir sama dengan hasil pengamatan mikroskopik pada artefak gelang batu 2/Kt/P.

3.4 Analisis Bahan dan Komparasi Teknik dengan Wilayah Lain

Dalam melakukan percobaan, Atmosudiro (1980) pertama-tama meletakkan batu di atas tanah liat. Kemudian, bor bambu diletakkan di atasnya dan keduanya dibalut dengan tanah liat. Setelah itu bambu diangkat, sementara tanah liat dibiarkan mengering dan membentuk seperti cetakan. Air dan pasir ditambahkan untuk membantu bambu mengikis permukaan batu. Tahap selanjutnya, bor bambu dimasukkan kembali ke cetakan tanah liat (dengan batu yang telah ada di dalamnya), dan diputarlah bor gesek tersebut. Hasilnya, gesekan bambu dengan bantuan air dan pasir dapat mengikis batu semakin dalam (Atmosudiro 1980: 52–53).

Bukti pengeboran yang disebutkan Atmosudiro (1980), yaitu dengan menggunakan pegangan bor, tali dan mata menunjukkan perputaran dua arah di mana pada hasil artefak hanya terlihat perputaran satu arah dari bukti striasi yang lurus memanjang dan paralel. Namun, hipotesa penggunaan bambu untuk pengeboran bambu dapat terbukti seperti

eksperimen yang dilakukan dalam penelitian ini. Proses pengeboran yang dilakukan juga tidak menggunakan perputaran yang terlalu cepat, tetapi menggunakan perputaran sedang dan stabil.

Bahan yang tersedia di situs Neolitik Purbalingga berupa bahan rijang sangat melimpah. Hal tersebut disebabkan karena proses geomorfologi yang terjadi kemudian adalah proses fluvial yang menghasilkan sungai-sungai purba, seperti Kali Lawing dan Kali Laban di wilayah Purbalingga. Kedua sungai tersebut merupakan *antecedent river*, yaitu sungai yang sudah ada bersamaan dengan proses pengangkatan dasar laut selama Tersier ke kondisi permukaan topografi sejak Holosen Awal. Sungai seperti itu terus aktif menggerus permukaan hasil pengangkatan sehingga menyingkap formasi-formasi batuan tua yang menjadi alas bagi sedimentasi selanjutnya.

Proses yang terjadi tersebut, terutama di wilayah Pegunungan Serayu Selatan, akhirnya menyediakan bahan batuan berupa nodul-nodul rijang hijau. Selain itu bahan abrasi juga didapatkan dari bahan yang sama seperti bahan pembuatan batu gelang. Serpihan batu rijang yang lapuk karena proses alam maupun sengaja dihancurkan oleh manusia menghasilkan pasir kuarsa yang dapat digunakan masyarakat Neolitik Purbalingga untuk membantu proses pengeboran gelang batu (Yuwono 2020: 1–2).

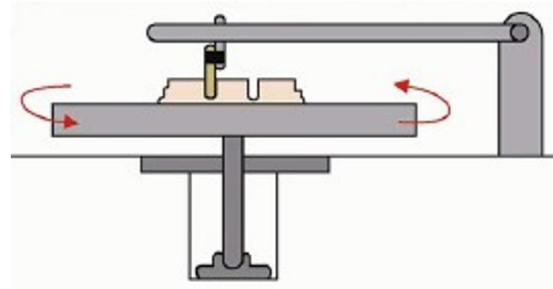
Selain di Purbalingga, sisa bahan gelang juga banyak ditemukan di Vietnam dan Taiwan. Di Vietnam terdapat situs perbengkelan giok tertua dan terbesar di Vietnam Utara, yaitu Trang Kenh. Pada situs ini banyak sekali ditemukan artefak sisa bahan gelang dan mata bor gelang yang dibuat dari batuan *nephrite*. Sementara itu, di Taiwan (Situs Pinglin) terdapat situs perbengkelan giok yang juga ditemukan banyak sisa pengeboran bahan batu *nephrite* (Hung 2014, 1–4). Situs ini dapat dikatakan sebagai situs perbengkelan giok terbesar di Asia Tenggara karena memiliki temuan permukaan berupa sisa pengerjaan batu giok, baik berupa sisa pengeboran maupun berbagai sisa-sisa pengerjaan lainnya (Hung dkk. 2007: 3)

Huang dalam Hung dkk. (2007, 5) melakukan penelitian eksperimental pada batuan giok atau *jade* (Gambar 9). Dalam proses pembuatan gelang batu dan *lingling-o* dibutuhkan tidak hanya kemampuan pengrajin yang handal namun juga kuantitas pekerja. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil eksperimen terhadap batuan giok yang digergaji dengan menggunakan bilah batu dan bahan pengikis pasir hanya mampu memotong sedalam 11 mm dalam waktu 8 jam pengerjaan. Sementara itu, pengeboran yang menggunakan bor bambu dengan bahan pengikis air dan pasir hanya menghasilkan lubang sedalam 8 mm dalam waktu 1 jam pengerjaan.

Dung dalam Hung (2014, 8), juga telah membuat rekonstruksi alat bor dari situs perbengkelan ini. Terlihat bahwa alat yang digunakan sangat berbeda dengan apa yang digunakan Atmosudiro (1980) dalam percobaannya. Jika Atmosudiro menggunakan bor gesek yang terdiri dari pegangan bor, tali, dan mata bor dari bambu wulung, di Vietnam alat yang digunakan sangat berbeda. Digambarkan bahwa untuk melubangi batu terdapat mata bor dan alas yang dapat diputar untuk meletakkan batu

Artefak serupa dari Afrika Selatan mengindikasikan bahwa untuk membuat

tepi lubang yang membulat diperlukan adanya kontak dengan material lain. Salah satu contohnya adalah pengikisan dengan batuan pasir (*grit*) yang ditemukan pada permukaan batu dan diaplikasikan dengan tekanan dan gerakan tertentu (Lombard 2003: 8).

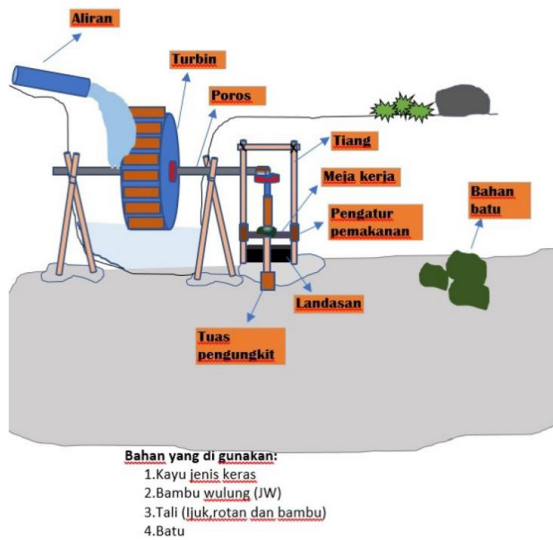


Gambar 9. Rekonstruksi alat bor kuno dari Vietnam (sumber: Nguyen Kim Dung, dalam Hung 2014: 8)

3.5 Interpretasi Mekanisme Alat Pengeboran Gelang Batu Purbalingga

Konsep yang telah dijelaskan pada bagian pembahasan sebelumnya memberikan gambaran kemungkinan mekanisme alat pengeboran gelang batu yang digunakan oleh masyarakat Neolitik Purbalingga. Sungai sebagai sumber bahan rijang, aliran airnya juga menyediakan energi untuk menggerakkan alat pengeboran yang dibutuhkan dalam produksi gelang batu. Kemungkinan teknologi hidro ini memanfaatkan aliran sungai-sungai yang mengalir di Pegunungan Serayu Selatan, seperti Sungai Klawing, Sungai Laban, maupun Sungai Tungtunggunung.

Mekanisme dalam teknologi hidro adalah menggunakan aliran air sebagai energi penggerak turbin atau mesin bor. Kincir air dan turbin merupakan sarana untuk mengubah aliran air menjadi listrik mekanik (Patel, SU and Pakale 2015: 1) dan prinsip kerja tersebut dapat ditemukan pada mesin pembangkit listrik tenaga air. Sumber air yang berasal dari sungai dialirkan menuju turbin berbentuk kincir air yang bergerak apabila air mengalir mengenai kincir. Putaran yang terjadi akan menyebabkan turbin berputar sehingga mata bor dapat bergerak untuk mengebor bahan batu. Aliran air juga memberikan perputaran yang stabil.



Gambar 9. Rekonstruksi alat bor kuno dari Vietnam (sumber : Nguyen Kim Dung, dalam Hung 2014, 8)

Bahan-bahan organik yang dapat digunakan antara lain bambu sebagai media untuk mengalirkan sumber air sungai dan juga mata bor, ijuk sebagai tali pengikat, dan kayu sebagai alat bor tradisional

4. Penutup

Gelang batu merupakan artefak yang diciptakan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan praktis dan estetis/symbolis. Beberapa temuan gelang batu di dunia seperti Situs Goergap di Afrika Selatan, Situs Pinglin di Taiwan, dan Situs Trang Kenh di Vietnam memberi gambaran pembuatan gelang batu yang pernah berlangsung di masa lalu situs-situs tersebut. Situs perbengkelan gelang batu di Indonesia terdapat di wilayah Purbalingga, seperti Situs Limbasari, Situs Tipar Ponjen, Situs Tipar Palumbungan, Situs Kemiren, Situs Mujan dan beberapa situs lainnya ditemukan banyak fragmen gelang dan sisa gelang batu. Artefak batu asah juga ditemukan dan diduga menjadi satu konteks dalam pembuatan gelang batu di situs-situs Purbalingga.

Proses pembuatan gelang batu tersebut dapat dijelaskan berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan. Prinsip dalam pengeboran gelang batu adalah menggunakan

benda silindris berongga sebagai mata bor. Mata bor yang digunakan juga mungkin digunakan bahan organik seperti bambu wulung (*Gigantochloa atroviolacea*). Hasil pengamatan mikroskopik terhadap artefak gelang batu juga menunjukkan adanya proses pengeboran dengan perputaran satu arah. Dengan demikian, penggunaan mesin bor dengan menggunakan perputaran dua arah tidak mungkin dilakukan terhadap artefak gelang batu tersebut seperti hipotesis yang disebutkan oleh Atmosudiro (1980). Beberapa artefak yang diamati juga menunjukkan adanya bekas gores dan permukaan yang halus. Hal tersebut memberikan gambaran bahwa proses pengeboran dilakukan dengan perputaran yang stabil. Penambahan bahan pengikis atau abrasif juga perlu dilakukan untuk mempercepat proses pengeboran dan memberikan hasil yang sesuai dengan hasil pengamatan mikroskopik pada artefak.

4.1 Saran

Penelitian eksperimen dalam arkeologi perlu dilakukan lagi dengan tahapan yang lebih lanjut. Proses eksperimen pembuatan gelang batu dalam penelitian ini masih menggunakan alat dan mesin modern sehingga belum dapat melakukan rekonstruksi aktivitas masyarakat Neolitik Purbalingga di masa lalu, khususnya produksi gelang batu. Diharapkan, pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan eksperimen dengan menggunakan alat tradisional agar hasil penelitian dapat melengkapi rekonstruksi kebudayaan manusia pendukung situs Neolitik Purbalingga.

Daftar Pustaka

- Atmosudiro, Sumijati. 1980. "Sisa Bor Gelang' Daerah Mujan Purbalingga, Salah Satu Data Cara Pembuatan Gelang Batu di Indonesia." Dalam *Kumpulan Makalah PIA II*, 47-54. Jakarta: Pusat Penelitian Arkeologi Nasional.

- Brumm, Adam, Michelle C. Langley, Mark W. Moore, Budianto Hakim, Muhammad Ramli, Iwan Sumantri, Basran Burhan, dkk. 2017. "Early human symbolic behavior in the Late Pleistocene of Wallacea." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (16): 4105. <https://doi.org/10.1073/pnas.1619013114>.
- Bellwood, Peter. 2004. "First Farmers: Origin of Agricultural Societies". Victoria: Blackwell Publishing.
- Conard, Nicholas J., Maria Malina, dan Susanne C. Münzel. 2009. "New Flutes Document the Earliest Musical Tradition in Southwestern Germany." *Nature* 460 (7256): 737–40. <https://doi.org/10.1038/nature08169>.
- Duff, Roger. 1970. "Stone Adzes of Southeast Asia." *Canterbury Museum Bulletin* 3: 1–156.
- Grace, Roger. 1997. "The Chaîne Operatoire to Lithic Analysis." Dalam *Stone Age Reference Collection*. Oslo: Institute of Archaeology, University of Oslo.
- Gwinnett, A., dan L. Gorelick. 1998. "A Brief History of Drills and Drilling." *BEADS: Journal of the Society of Bead Researchers* 10: 49–56.
- Hung, H.C. 2014. "Jade in Southeast Asia." *Encyclopedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-West Cultures*, 1–8. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-3934-5>.
- Hung, H.C, Y. Iizuka, P. Bellwood, K. D. Nguyen, B. Bellina, P. Silapanth, E. Dizon, R. Santiago, I. Datan, dan J. H. Manton. 2007. "Ancient Jades Map 3,000 Years of Prehistoric Exchange in Southeast Asia." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (50): 19745–50. <https://doi.org/10.1073/pnas.0707304104>.
- Ilan, David. 2016. "The Ground Stone Components of Drills in the Ancient Near East: Sockets, Flywheels, Cobble Weights, and Drill Bits." *Journal of Lithic Studies* 3 (3): 261–77. <https://doi.org/10.2218/jls.v3i3.1642>.
- Imdirakphol, Sunisa, Antoine Zazzo, Prasit Auetrakulvit, Chaturaporn Tiamtinkrit, Alain Pierret, Hubert Forestier, dan Valéry Zeitoun. 2017. "The Perforated Stones of the Doi Pha Kan Burials (Northern Thailand): A Mesolithic Singularity?" *Comptes Rendus Palevol* 16 (3): 351–61. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2016.12.003>.
- Lombard, Marlize. 2003. "The Lithic Rings of Honingklip, Goergap, Olieboomspoort and Windsorton : A Functional Interpretation Based on Microscopy." *South Africa Archaeological Bulletin* 58 (177): 6–13.
- Miller, Heather Margaret-Louise. 2007. *Archaeological approaches to technology*. Amsterdam ; Boston: Elsevier/Academic Press.
- Patel, SU and Pakale, Prashant N. 2015. "Study on Power Generation by Using Cross Flow Water Turbine in Micro Hydro Power Plant." *International Journal of Research in Engineering and Technology* 04 (05): 1–4.
- Semenov, S.A. 1964. *Prehistoric Technology (An Experimental Study of the Oldest Tools and Artefacts From Traces of Manufacture and Wear)*. Cory, Adams & Mackay.
- Talamo, Sahra, Mikołaj Urbanowski, Andrea Picin, Wioletta Nowaczewska, Antonino Vazzana, Marcin Binkowski, Silvia Cercatillo, dkk. 2021. "A 41,500 Year-Old Decorated Ivory Pendant from Stajnia Cave (Poland)." *Scientific Reports* 11 (1): 22078. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01221-6>.

- Thompson, Tosin. 2021. "Is This Mammoth-Ivory Pendant Eurasia's Oldest Surviving Jewellery?" *Nature*, November. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-03534-y>.
- Yuwono, JSE. 2020. "Artefak Berbahan Cherts di Situs Limbasari: Perspektif Geologi, Geomorfologi, dan Arkeologi." Tidak Diterbitkan.